



## 以VIIRS-DNB数据为基础的黄海渔船夜间灯光动态

陈冠宇, 刘阳\*, 田浩, 叶振江, 于海庆, 李建超, 田永军

(中国海洋大学水产学院, 渔业海洋学实验室, 山东青岛 266003)

**摘要:** 将VIIRS/DNB卫星遥感夜间灯光图像作为研究渔业船舶动态的数据来源, 使用黄海海域2016年间共719幅夜间灯光影像, 根据黄海海域特点确定阈值, 提取夜间作业船舶的灯光点位信息, 结合中韩渔业协定区及黄海海域渔场划分对提取的船舶灯光点进行分析。结果显示, 黄海海域夜间渔业灯光分布季节性变化显著, 四季的渔船数量呈现秋季>春季>夏季>冬季的态势。识别的灯光点数量韩方一侧水域最多, 中方一侧水域次之, 中韩协定区水域最少, 结合灯光点密度分布图可看出, 韩方一侧水域秋季作业强度高、分布范围广, 而其他季节作业强度适中, 常年有高等级密集区分布在沿岸海域; 中方一侧水域春、秋季节作业强度高, 夏、冬季节作业强度低, 整体分布范围广阔但密集程度较低。在禁渔期, 中方一侧水域灯光点数下降比例高达86.9%, 且密度图像中的高等级密集区分布情况与黄海传统渔场位置相吻合, 因此推断, 识别的灯光点多数为渔业活动船只, 本研究可以为黄海海域渔业活动监测和研究提供数据支撑。

**关键词:** 夜间灯光遥感; 渔船动态; VIIRS/DNB; 渔业资源; 黄海

**中图分类号:** S 937

**文献标志码:** A

黄海位于中国大陆与朝鲜半岛之间, 是一处半封闭海域, 面积约38万km<sup>2</sup>。作为中国海洋渔业开发最早的渔区之一, 黄海是我国十分重要的渔业捕捞水域, 也是许多海洋生物的重要产卵场、育幼场、索饵场和越冬场<sup>[1]</sup>。从二十世纪50年代到二十一世纪初期, 黄海渔业资源经历了开发不充分、充分开发、过度开发3个阶段, 几十年间许多大型中上层鱼种在捕捞压力下迅速衰退甚至消失, 取而代之的是一些生命周期短、经济效益低的鱼类<sup>[2-3]</sup>。如何可持续地利用黄海渔业资源, 已经成为当前渔业管理部门关注的主要问题<sup>[4-5]</sup>, 完善渔业资源的分配与管理, 缓解当前困境, 亟需高质量的渔业活动数据支持。

由于海洋范围广阔, 渔业生产数据的获取受地理条件、气候条件等因素制约, 渔船作业

信息难以实时把握。目前渔业作业数据获取方式主要来自船舶监测系统(Vessel Monitoring System, VMS)及船舶自动识别系统(Automatic Identification System, AIS), 二者皆可提供实时的渔船位置信息, 但部分渔船在作业时会暂时关闭来自监测系统的传输信号, 这将导致得到的渔船作业信息不全面, 渔业管理无法有效实施<sup>[6-7]</sup>。为了弥补现有监测方式的不足, 本研究将遥感夜间灯光数据应用在渔船活动监测中, 希望使用这种新手段协助渔业管理部门掌握渔船动态, 并且对管理非法、未申报、无管制(Illegal, Unregulated, Unreported, IUU)的渔业行为提供有质量的数据支持<sup>[8]</sup>。

从1994年开始, 美国国防气象卫星计划(Defense Meteorological Satellite Program, DMSP)的线性扫描系统(Operational Linescan System, OLS)

收稿日期: 2019-04-24 修回日期: 2019-06-21

资助项目: 国家重点研发计划(2018YFD0900902); 山东省重点研发计划(2019GHY112014); 中央高校基本科研经费(201762015)

通信作者: 刘阳, E-mail: Yangliu315@ouc.edu.cn

被应用于早期的夜光遥感相关研究中, DMSP/OLS持续收集全球微光影像数据长达40多年,且目前仍在使用<sup>[9-10]</sup>。虽然应用广泛,但DMSP/OLS仍有许多不足,例如粗糙的空间分辨率(2.7 km)、缺少用来区别不同热源的光谱通道、光谱覆盖范围较小(0.47~0.95  $\mu\text{m}$ )、缺乏飞行校准等<sup>[11]</sup>。随着遥感领域科技的发展,2011年Suomi NPP(Suomi National Polar-orbiting Partnership)卫星发射升空,Suomi NPP是一颗近极地太阳同步轨道卫星,卫星上共搭载了5种传感器,光谱覆盖范围505~890 nm<sup>[12]</sup>,可见光红外辐射仪(Visible Infrared Imaging Radiometer Suite, VIIRS)便是其中之一<sup>[13]</sup>,VIIRS共有22个光谱波段,其中DNB(Day/Night Band)波段的光谱空间分辨率为742 m,具有超高灵敏度的微光识别能力,能够在夜间精准捕捉渔船位置信息。

一直以来,夜光遥感影像广泛应用在各个领域,Cho等<sup>[14]</sup>1992年使用日本渔业信息中心(JAFIC)的数据验证了无云状况下DMSP/OLS提取的夜间灯光位置信息可用来监测夜间船舶位置;Liu等<sup>[15]</sup>通过对比VMS的数据,证明了VIIRS/DNB数据可以有效识别海上的灯光渔船,且识别出的渔船数量要超过VMS;2013年美国国家气象局使用VIIRS/DNB数据提供导航,帮助受困于冰层中的阿拉斯加捕蟹船安全返航<sup>[16]</sup>;Cozzolino等<sup>[17]</sup>使用2014—2016年的VIIRS/DNB夜间灯光数据提取阿根廷附近海域的鱿钓船位置信息,并对渔船重点空间密集区域进行探讨。

因此,本研究使用VIIRS/DNB夜间灯光数据,针对黄海海域渔业生产船舶分布星散、夜间作业光照强度不规律等特征开发了一套提取黄海海域夜间作业渔船灯光点的数量和位置的新方法,并分析夜间灯光点的时空分布及季节性变化,为我国渔业资源管理与监测提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源

本研究使用的是Suomi NPP卫星VIIRS/DNB波段的夜间灯光数据,数据来源于美国国家海洋和大气管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)下属的综合性大型阵列数据管理系统(COMPREHENSIVE LARGE ARRAY-DATA STEWARDSHIP SYSTEM, CLASS),数据来源网站:<https://www.bou.class.noaa.gov/saa/products/>

welcome。本研究共下载处理了NPP-VIIRS/DNB夜间灯光图像719幅,数据空间范围为119°30′~128°00′ E, 32°10′~40°10′ N,覆盖全部黄海海域。时间跨度为2016年1月1日—2016年12月31日,时间分辨率为每天,截取时间段集中在当地时间23:00—24:00。为方便分析黄海海域船舶夜间灯光点时空分布规律,本研究依据《中韩渔业协定》<sup>[18]</sup>及国家海洋局《全国海洋功能区划》分别对黄海海域进行了区划<sup>[19]</sup>,数据处理过程如图1所示。

### 1.2 研究方法

**数据预处理** 在ENVI 5.3软件的支持下将原始图像(.h5格式)初步加工,提取出辐射强度、地理空间坐标信息,之后利用GLT(Geographic Lookup Table)工具进行几何校正,为辐射强度图像中的每一像元匹配经纬度坐标后输出栅格文件。由于扫描角度的变化,扫描带的边缘噪声较扫描带中部噪声高,选用维纳滤波对DNB影像进行降噪处理。维纳滤波通过拟合目标像素3×3邻域内点辐射值的均方差,依据最小方差准则可以有效地滤除白噪声<sup>[20]</sup>。

**阈值确定** 夜间船舶的灯光以光源为中心逐渐向四周辐射,中心的辐射强度最高,距离光源越远,辐射强度越弱<sup>[21]</sup>。为增强对比度,将原始辐射值统一乘以 $10^9$ ,DNB数据的原始辐射单位为 $\text{W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr})$ ,放大辐射值使单位转换为 $\text{nW}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr})$ <sup>[8]</sup>,该方法能够有效突出灯光点与背景像元之间的差异。之后将各像元的辐射值同周围3×3邻域内像元的辐射值进行对比,保留辐射值最高的像元,以此作为该邻域阈值,直接去除低于阈值的像元,高于阈值则标记为灯光点。最后使用经验阈值,将所有辐射值低于 $0.3 \text{ nW}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr})$ 的像元定义为背景再次去除<sup>[22]</sup>,提取结果以shp格式文件输出。

**虚警因子剔除** 经阈值提取后的灯光点不仅包含研究需要的船舶灯光,还包含其他高于阈值的光源,例如在夜间出现的闪电、海上油田的火点等。在DNB图像中,闪电呈现为水平照明带,由一些连续的高亮度像元组成,易于分辨,可在图中直接剔除;对于海上油田火点,在DNB图像上的呈现方式为长时间无任何地理位置变动的高亮度识别点,可用栅格掩膜将该点位覆盖。来自非渔业船舶的干扰主要出现在近岸海域,同样在近岸的锚地及主要航道处设置栅格掩膜,剔除掩膜覆盖范围内的灯光

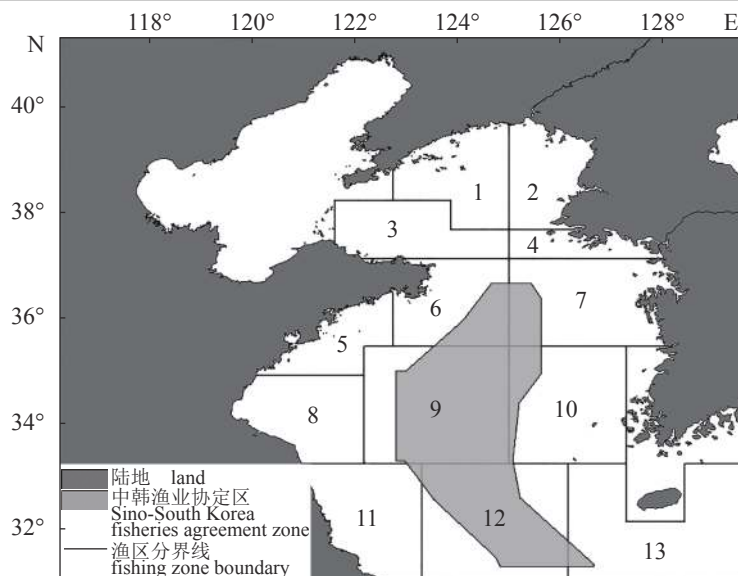


图1 黄海渔区分布

1. 海洋岛渔场, 2. 海东渔场, 3. 烟威渔场, 4. 威东渔场, 5. 青海渔场, 6. 石岛渔场, 7. 石东渔场, 8. 海州湾渔场, 9. 连青石渔场, 10. 连东渔场, 11. 吕泗渔场, 12. 大沙渔场, 13. 沙外渔场

Fig. 1 Yellow Sea fishing area distribution

1. Haiyangdao fishing ground, 2. Haidong fishing ground, 3. Yanwei fishing ground, 4. Weidong fishing ground, 5. Qinghai fishing ground, 6. Shidao fishing ground, 7. Shidong fishing ground, 8. Haizhou bay fishing ground, 9. Lianqingshi fishing ground, 10. Liandong fishing ground, 11. Lüsü fishing ground, 12. Dasha fishing ground, 13. Shawai fishing ground

点, 去除非捕捞相关航运活动的干扰<sup>[23]</sup>。

**图像分析** 根据2001年6月30日达成的《中韩渔业协定》<sup>[18]</sup>, 将黄海海域划分为中方一侧水域、渔业协定区水域及韩方一侧水域, 之后提取出各水域的灯光点制成图表进行季节性分析。根据《全国海洋功能区划》<sup>[19]</sup>将黄海海域划分为13个渔区(图2), 使用ArcGIS 10.2.2软件的密度分析工具对识别点进行密度分析。点密度分析即以每个像元为中心设定一个邻域范围, 将邻域内的点数量相加, 然后再除以邻域面积, 得到的数值为点的密度系数。为便于分析各月份密度变化规律, 在计算各月份点密度系数时选定相同的邻域半径, 研究设定邻域为圆形, 半径为0.32 km, 可以覆盖该区域超过80%的灯光点。

## 2 结果

### 2.1 基于渔业协定区的夜间灯光季节性对比

本研究依据《中韩渔业协定》<sup>[18]</sup>, 将提取到的灯光点数据进行了分区, 由于DNB信号不具备穿透云层的能力, 在探测海表灯光时容易受到云雾的遮挡<sup>[24]</sup>。为排除云雾的干扰, 选择云层覆盖面积低于30%的日期保留为有效日, 并将全部非有效日的灯光数量标记为空白。结果显

示, 中方一侧水域共保留有效日136 d, 灯光点数45 298个(图3); 协定区水域保留有效日130 d, 灯光点数19 351个(图4); 韩方一侧水域保留有效日145 d, 灯光点数72 397个(图5), 各水域平均月灯光点数折线图如图6所示。

三个水域夜间灯光季节性分布特征明显, 高灯光数量时期为春季(3—5月)与秋季(9—11月), 夏季(6—8月)与冬季(12—2月)是灯光活动的弱勢期, 黄海海域夜间灯光数量分布整体符合秋季>春季>夏季>冬季的趋势。年平均灯光点数协定区最少, 平均为169个/d; 韩方一侧水域最多, 平均为518个/d, 约为协定区的3倍; 中方一侧水域平均为365个/d, 约为协定区的2倍。

韩方一侧水域11月份日平均灯光点数最高, 为784个/d, 2月份船舶密度最低, 平均为224个/d; 中方一侧水域9月份船舶密度最高, 7月份密度最低, 平均值分别为768和65个/d; 渔业协定区10月份密度最高, 6月份密度最低, 平均值分别为381和19个/d。从季节变化来看, 韩方一侧水域全年灯光数量最高的季节为秋季, 其余3个季节灯光点数量极其相似, 波动不明显; 中方一侧与协定区水域的灯光点数量季节性波动相同, 秋季最高、夏季最低, 都具有明显的双峰周期

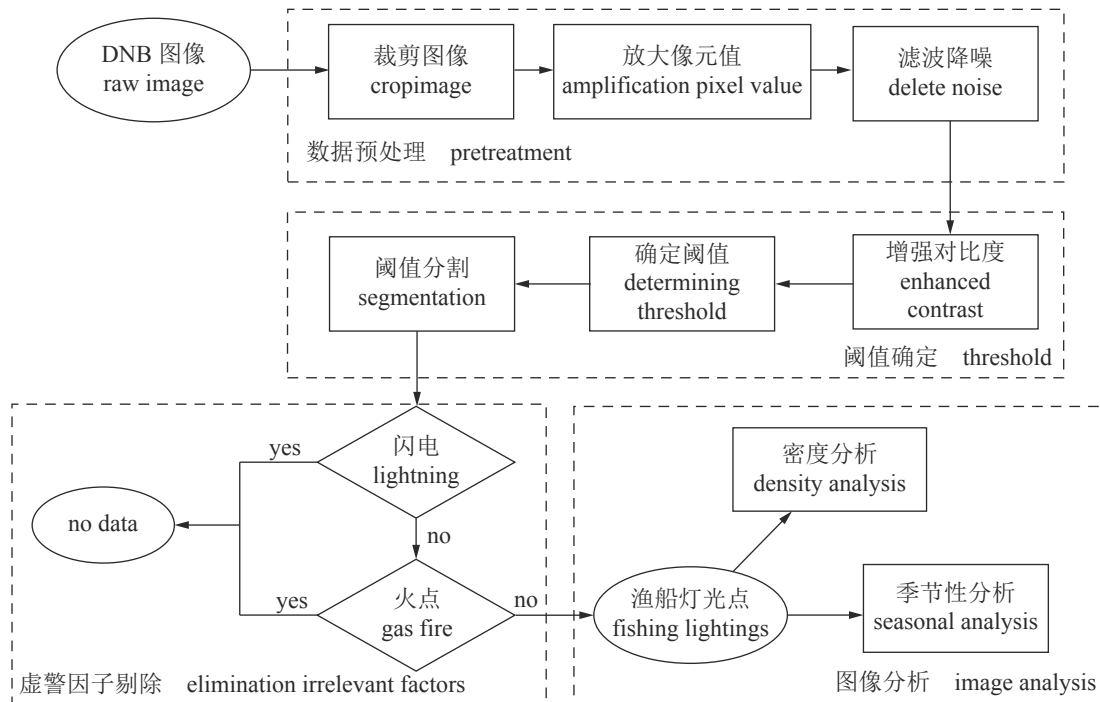


图 2 技术路线图

Fig. 2 Technical route

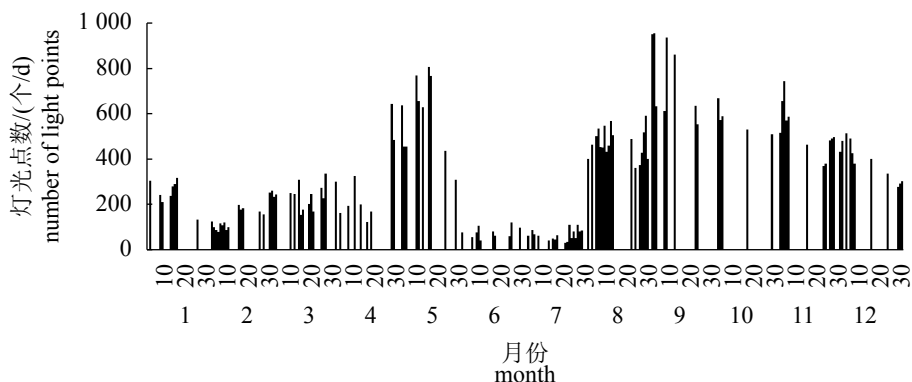


图 3 2016年中方一侧水域灯光点数

Fig. 3 2016 nightlight points in Chinese waters

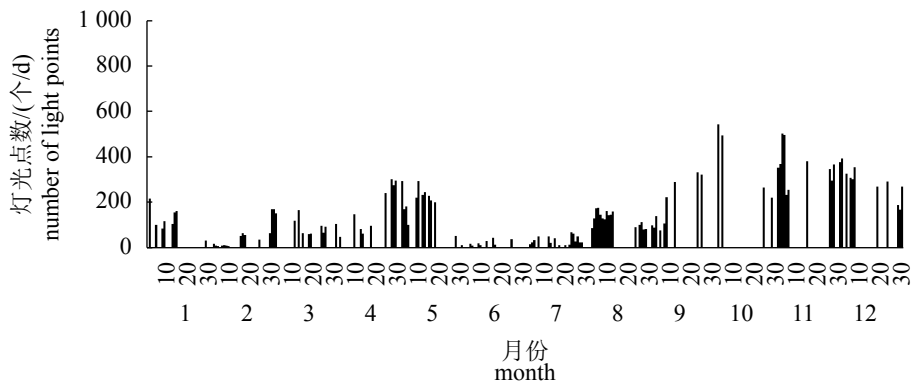


图 4 2016年中韩协定区水域灯光点数

Fig. 4 2016 nightlight points in Sino-South Korea fishery agreement waters



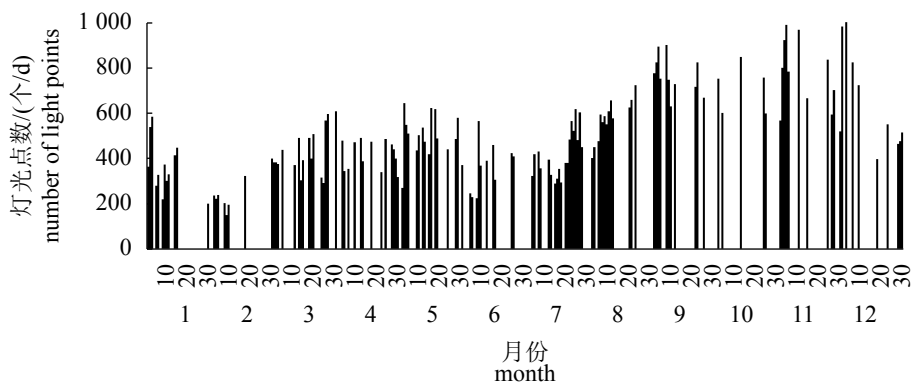


图5 2016年韩方一侧水域灯光点数

Fig. 5 2016 nightlight points in South Korean waters

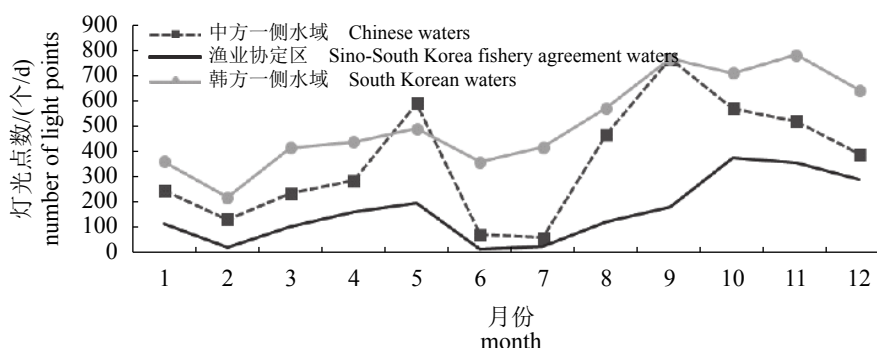


图6 2016年黄海三个水域平均月灯光点数

Fig. 6 Average monthly light points in the three regions of the Yellow Sea in 2016

分布特征。

## 2.2 夜间灯光热点分布

为进一步分析黄海海域作业渔船的生产强度,本研究结合渔场分布情况,使用密度分析方法分析黄海夜间灯光空间变化规律,制作出灯光点密度分析图(图7)。用于制作密度分析图的数值为邻域范围内的点同邻域面积的比值,位于极值处的端点较多,为平衡显示中间值变化与极值变化,故选用自然间断点分级法将船舶密集区划分为I~V 5个等级,分别对应密度系数: I级157~1099、II级1099~2460、III级2460~4 815、IV级4 815~9 788、V级9 788~13 349。

冬季的3个月份中,12月份渔场为沙外渔场,其中有3个区域密集程度到达IV级,并以此为中心向四周扩散。黄海西部石岛渔场船舶密集区较为集中,密集区域在石岛渔场中部,密集度可达III级;1月份,黄海西部的海州湾渔场与石岛渔场均有较多船只聚集,无高密度区出现,同12月份相比,这两片海域船舶扩散范围较大,密集度较低,仅为I~II级。黄海东部海域,沙

外渔场密集度较高的部分海域,密集度为I~III级,且有向西扩散的趋势直到大沙渔场,仅有济州岛东北侧海域密集程度为IV级。此外在韩国的群山与仁川周边海域也有小规模渔船聚集,密集度为III级;2月份的高密集度渔场与1月份相同,但各渔场的船舶密集区均向近岸靠拢,密集程度为I级,仅海岸线附近有少量区域密集度为II级。整体来看,冬季3个月份,黄海东部海域的船舶密集区分布范围大于西部海域,高密度区域数量也多于西部海域。

春季(3—5月)黄海海域与冬季相比,船舶密集区域覆盖范围呈扩大趋势。从3月份开始,西部海域以海州湾渔场为核心(I~II级),东部海域以沙外渔场为核心(I~III级)共同向黄海中部扩张。随着气温升高,船舶密集区域逐步扩大,到5月份,东部和西部密集区连接在一起,覆盖了海州湾渔场(I~IV级)、吕泗渔场(I~II级)、大沙渔场(I~II级)、沙外渔场(I~IV级)这4大渔场为主的整个南部海域,并延伸至连青石渔场南部(I~III级)及连东渔场东南部(I~III级)。黄

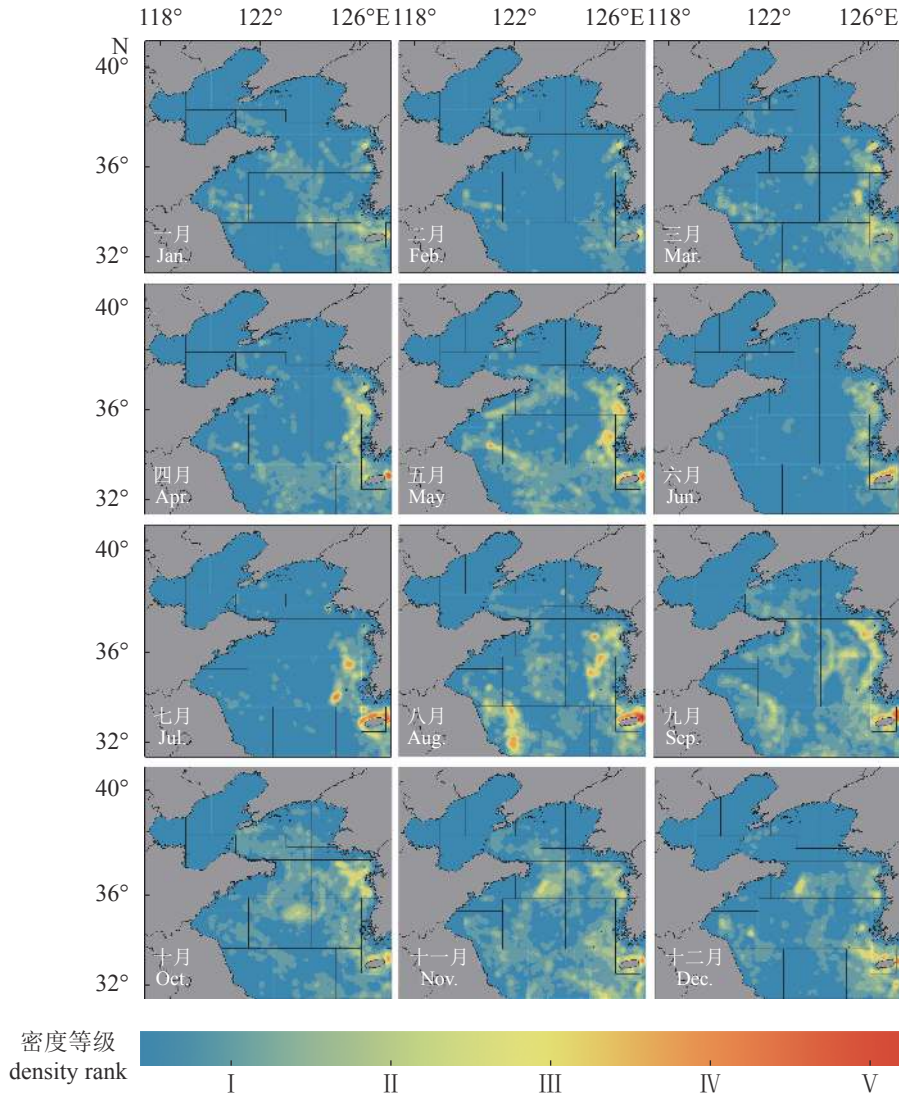


图 7 2016年黄海海域12个月份灯光点密度分析图

密度等级 I~V, 5个等级对应密度系数: I级. 157-1 099、II级. 1 099-2 460、III级. 2 460-4 815、IV级. 4 815-9 788、V级. 9 788-13 349

Fig. 7 Density analysis chart of each month in the Yellow Sea in 2016

Density grade I : 157-1 099, II: 1 099-2 460, III: 2 460-4 815, IV: 4 815-9 788, V: 9 788-13 349

海东部在群山及木浦附近两处海域出现了密集度为IV级的区域, 黄海西部渔船密集区形成了环带状连接, 覆盖了整个山东省沿岸海域, 密集度为I~II级, 青海渔场密集度最高, 达到III级。

夏季为6—8月, 从6月1日开始, 进入中国的伏季休渔期, 包含6、7两个月, 在黄海作业的大量渔船纷纷靠港。黄海西部, 6、7月份的主要船舶密集区消失, 仅海州湾渔场有少量无规律的I级区域出现。黄海东部的船舶聚集区域依旧以仁川、木浦、济州岛附近海域三点为中心向四周扩散, 密集程度为IV级。同6月相比, 7月份主要聚集区扩散范围更广, 其他区域无明显

变化。8月份江苏省的灯光围网、敷网、定置网等作业方式恢复生产, 以吕泗渔场为中心(IV级)向外扩散, 大沙渔场、连青石渔场一带也开始出现大范围密集区(I~II级)。黄海东部的主要聚集区较前2个月份北移, 群山附近海域重新出现聚集中心, 沙外渔场密集程度达到V级, 密集程度为全年最高。

秋季为9—11月, 9月份随着中国伏季休渔全面结束, 各渔场密集面积迅速扩大, 从图中可以看出, 这3个月黄海船舶密集海域覆盖率超过了80%。秋季黄海西部最高密集程度为III级, 随着月份变化逐渐北移, 9月份在吕泗渔场东北部, 10月份在连青石渔场东北部, 同时吕泗渔场、

大沙渔场的密集范围及密集强度均大幅降低, 11月份在纬度更高的石岛渔场, 除此之外 I~II 级密集区遍布黄海西部其他渔场。黄海东部秋季整体密集区覆盖率高于90%, III级密集区依旧集中在仁川、木浦和济州岛附近海域。整体来看, 秋季为黄海渔船分布最广泛的季节, 尤其11月份, 密集区遍布各大渔场, 普遍密集程度为 I~II 级。

### 3 讨论

当前探测渔船作业信息的数据中, AIS数据无法免费获取, 且大部分岸基AIS数据主要局限在近岸区的捕捞渔船; VMS数据在不同地区的通讯系统下汇报频率不同, 尤其在渔业协定区, 这种地缘政治复杂海域收集到的数据更加难以统一标准, 收集到的数据缺乏完整性<sup>[25]</sup>。因此, 本研究选择能够实现同步观测, 更加容易获取的卫星遥感数据, 提出一套适合黄海海域的灯光点提取方法。针对中韩两国渔船灯光配置不同的特点, 对3个区域使用不同阈值提取灯光点, 用该方法提取密集程度低且分布区域广的灯光点, 可以有效防止漏检。此外, 夜间灯光遥感影像具有客观性、观察范围广、易于收集等优势<sup>[26]</sup>, 可以在短时间内得到目标海域的高精度灯光图像, 为观测海上渔船数据提供了新的视角。

本研究基于DNB数据提取了2016年黄海海域夜间灯光点。从图4可以看出, 2016年的灯光点数呈双峰趋势, 有春、秋高, 夏、冬低的季节性规律。中方一侧水域灯光数量在夏季有大幅度减弱的趋势, 最低值出现在6月, 与前月数量相比下降了84.1%, 在此期间韩方一侧水域的灯光点数下降比例仅为26.3%。2016年6月1日开始, 中国进入伏季休渔期, 在该时期全国各省的渔船全部禁止出海从事捕捞活动, 这也解释了6月份中方一侧水域灯光点数大幅度下降的现象, 8月份我国江苏省灯光围网、罩网等作业方式休渔期结束, 所以从8月开始, 黄海逐渐出现灯光点, 结合灯光密度分布图, 可见我国伏季休渔政策效果十分显著(图7)。海上来自不同照明设备的灯光点具有不同的分布规律, 渔船灯光点呈现季节性和周期性的活动规律, 而商船、运输船照明灯光周期短, 且季节性规律较弱<sup>[21]</sup>。综上所述, 本研究识别的灯光点具有明显的季节性规律, 且在休渔期数量大幅下降, 能够反映该时期的渔业活动状态, 因此推断识别出的

<http://www.sxuebao.cn>

灯光点多数为渔船灯光, 可为分析黄海海域的夜间渔业活动提供参考。

点密度分析图中, 许多高灯光密集度区域的分布与黄海的著名渔场位置相吻合(图7), 且渔业资源越丰富, 灯光密集程度越高<sup>[27]</sup>。大沙渔场在8—11月出现大范围灯光分布, 部分密集程度达到III级, 该海域为捕捞鲈(*Scomber japonicus*)的重点渔场, 每年都有大量灯光围网渔船在此作业, 2011年该渔场的鲈捕获量占全年黄海海域鲈捕获量的90%<sup>[28]</sup>。石岛渔场东南部水域是大头鲑(*Gadus macrocephalus*)的主要产卵场, 产卵期为1—3月<sup>[29]</sup>, 密度分析图中可以看到该时期有较高的灯光密集度。每年春季, 大量的蓝点马鲛(*Scomberomorus nipponius*)产卵群体会聚集在吕泗渔场及大沙渔场形成大规模渔汛<sup>[30]</sup>, 从4、5月份的灯光点密度分布图中也可以得到很好的验证。

VIIRS/DNB夜间灯光遥感数据容易受到云层、海雾的干扰, 导致渔船识别精度下降。在将来的研究中, 将会对黄海海域进行更精细的区域分化, 减少云层对夜间灯光的影响, 更加充分地利用现有的灯光数据。同时在现有研究基础上增加其他年份的夜间灯光遥感图像补充数据量, 并将夜间灯光遥感数据同海表温度、叶绿素浓度、海水深度等环境因素相结合, 对黄海海域渔场动态变化进行更加全面地分析。本研究促进渔业资源与卫星遥感的学科交叉, 为我国渔业资源智能化管理提供数据支持。

### 参考文献:

- [1] 金显仕, 赵宪勇, 孟田湘, 等. 黄、渤海生物资源与栖息环境[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 147-379.  
Jin X S, Zhao X Y, Meng T X, et al. The living resources and its habitat in Yellow Sea and the Bohai Sea[M]. Beijing: Science Press, 144-149 (in Chinese).
- [2] 刘静, 宁平. 黄海鱼类组成、区系特征及历史变迁[J]. 生物多样性, 2011, 19(6): 764-769.  
Liu J, Ning P. Species composition and faunal characteristics of fishes in the Yellow Sea[J]. Biodiversity Science, 2011, 19(6): 764-769(in Chinese).
- [3] 吕振波. 山东近海经济生物资源调查与评价[M]. 北京: 海洋出版社, 2010.  
Lü Z B. Investigation and evaluation of economic biological resources in Shandong offshore[M]. Beijing: China Ocean Press, 2010 (in Chinese).



- [4] 李晓炜, 赵建民, 刘辉, 等. 渤海渔业资源三场一通道现状、问题及优化管理政策[J]. 海洋湖沼通报, 2018, 164(5): 147-157.
- Li X W, Zhao J M, Liu H, *et al.* Status, problems and optimized management of spawning, feeding, overwintering grounds and migration route of marine fishery resources in Bohai sea and Yellow Sea[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2018, 164(5): 147-157(in Chinese).
- [5] 刘瑞玉. 关于我国海洋生物资源的可持续利用[J]. 科技导报, 2004, 22(11): 28-31.
- Liu R Y. On sustainable exploitation of marine biological resources in China[J]. Science & Technology Review, 2004, 22(11): 28-31(in Chinese).
- [6] Hall J, Lee J, Benin J, *et al.* IEEE 1609 influenced automatic identification system (AIS)[C]//2015 IEEE 81st Vehicular Technology Conference. Glasgow, UK: IEEE, 2015.
- [7] Oozeki Y, Inagake D, Saito T, *et al.* Reliable estimation of IUU fishing catch amounts in the northwestern Pacific adjacent to the Japanese EEZ: potential for usage of satellite remote sensing images[J]. Marine Policy, 2018, 88: 64-74.
- [8] Cao C Y, Bai Y. Quantitative analysis of VIIRS DNB nightlight point source for light power estimation and stability monitoring[J]. Remote Sensing, 2014, 6(12): 11915-11935.
- [9] Elvidge C D, Cinzano P, Pettit D R, *et al.* The Nightsat mission concept[J]. International Journal of Remote Sensing, 2007, 28(12): 2645-2670.
- [10] Elvidge C D, Baugh K E, Zhizhin M, *et al.* Why VIIRS data are superior to DMSP for mapping[J]. Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network, 2013, 35: 62-69.
- [11] Elvidge C D, Keith D M, Tuttle B T, *et al.* Spectral identification of lighting type and character[J]. Sensors, 2010, 10(4): 3961-3988.
- [12] Miller S D, Mills S P, Elvidge C D, *et al.* Suomi satellite brings to light a unique frontier of nighttime environmental sensing capabilities[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2012, 109(39): 15706-15711.
- [13] 夏浪, 毛克彪, 马莹, 等. 基于可见光红外成像辐射仪数据的地表温度反演[J]. 农业工程学报, 2014, 30(8): 109-116.
- Xia L, Mao K B, Ma Y, *et al.* Retrieval land surface temperature from visible infrared imager radiometer suite data[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(8): 109-116(in Chinese).
- [14] Cho K, Ito R, Shimoda H, *et al.* Technical note and cover Fishing fleet lights and sea surface temperature distribution observed by DMSP/OLS sensor[J]. International Journal of Remote Sensing, 1999, 20(1): 3-9.
- [15] Liu Y, Saitoh S I, Hirawake T. Detection of squid and Pacific saury fishing vessels around Japan using VIIRS Day/Night Band image[J]. Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network, 2015, 39: 28-39.
- [16] Straka III W C, Seaman C J, Baugh K, *et al.* Utilization of the suomi national polar-orbiting partnership (NPP) visible infrared imaging radiometer suite (VIIRS) day/night band for arctic ship tracking and fisheries management[J]. Remote Sensing, 2015, 7(1): 971-989.
- [17] Cozzolino E, Lasta C A. Use of VIIRS DNB satellite images to detect jigger ships involved in the *Illex argentinus* fishery[J]. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 2016, 4: 167-178.
- [18] Fisheries Agreement between the Government of the People's Republic of China and the Government of the Republic of Korea[J]. Fisheries Agreement between the Government of the People's Republic of China and the Government of the Republic of Korea[J]. General Office of the State Council of the People's Republic of China, 2001(19): 5-7.
- [19] 国家海洋局. 全国海洋功能区划(2011-2020年)[EB/OL]. (2012-04-18)[2012-04-25]. [http://f.mnr.gov.cn/201806/t20180621\\_1830454.html](http://f.mnr.gov.cn/201806/t20180621_1830454.html).
- State Oceanic Administration. National marine functional zoning (2011-2020)[EB/OL]. (2015-04-18) [2012-04-25]. [http://f.mnr.gov.cn/201806/t20180621\\_1830454.html](http://f.mnr.gov.cn/201806/t20180621_1830454.html) (in Chinese).
- [20] Lim J S. Two-dimensional signal and image processing[J]. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice-Hall, 1990.
- [21] Choi S, Nakamura Y, Arimoto T. Horizontal illuminance of line source model for fishing lamps around the coastal squid jigging boats[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1997, 63(2): 160-165.
- [22] Zhao X, Li D R, Li X, *et al.* Spatial and seasonal patterns of night-time lights in global ocean derived from



- VIIRS DNB images[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2018, 39(22): 8151-8181.
- [23] Geronimo R C, Franklin E C, Brainard R E, *et al.* Mapping fishing activities and suitable fishing grounds using nighttime satellite images and maximum entropy modeling[J]. *Remote Sensing*, 2018, 10(10): 1604.
- [24] Kopp T J, Thomas W, Heidinger A K, *et al.* The VIIRS Cloud Mask: progress in the first year of S-NPP toward a common cloud detection scheme[J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2014, 119(5): 2441-2456.
- [25] 郭刚刚. 基于NPP/VIIRS夜光遥感数据的西北太平洋公海灯光围网渔船检测及其作业渔场分析[D]. 上海: 上海海洋大学, 2017.
- Guo G G. Detection algorithm for operating pelagic light-fishing boats in the Northwestern Pacific and its fishing ground analysis based on NPP/VIIRS low light imaging data[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2017 (in Chinese).
- [26] Bennie J, Davies T W, Duffy J P, *et al.* Contrasting trends in light pollution across Europe based on satellite observed night time lights[J]. *Scientific Reports*, 2014, 4: 3789.
- [27] Alabia I D, Saitoh S I, Hirawake T, *et al.* Elucidating the potential squid habitat responses in the central North Pacific to the recent ENSO flavors[J]. *Hydrobiologia*, 2016, 772(1): 215-227.
- [28] 高峰, 陈新军, 官文江, 等. 基于提升回归树的东、黄海鲈鱼渔场预报[J]. *海洋学报*, 2015, 37(10): 39-48.
- Gao F, Chen X J, Guan W J, *et al.* Fishing ground forecasting of chub mackerel in the Yellow Sea and East China Sea using boosted regression trees[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2015, 37(10): 39-48(in Chinese).
- [29] 张人元, 卞晓东, 单秀娟, 等. 黄海大头鳕0龄幼体分布及其与环境因子的关系[J]. *水产学报*, 2018, 42(6): 870-880.
- Zhang R Y, Bian X D, Shan X J, *et al.* Distribution of the age 0 group Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) in the Yellow Sea and its relationship with environmental factors[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2018, 42(6): 870-880(in Chinese).
- [30] 袁杨洋, 叶振江, 刘群, 等. 黄海南部春季蓝点马鲛 (*Scomberomorus niphonius*) 渔场海洋学特征与渔期渔场分布[J]. *海洋与湖沼*, 2009, 40(4): 506-510.
- Yuan Y Y, Ye Z J, Liu Q, *et al.* Fishery oceanography and spatial-temporal distribution of *Scomberomorus niphonius* in spring in southern Yellow Sea[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2009, 40(4): 506-510(in Chinese).

## Dynamic analysis of night fishing vessels in the Yellow Sea based on VIIRS-DNB data

CHEN Guanyu, LIU Yang\*, TIAN Hao, YE Zhenjiang,  
YU Haiqing, LI Jianchao, TIAN Yongjun

(Fisheries and Oceanography Laboratory, College of Fisheries, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

**Abstract:** VIIRS/DNB satellite nighttime light image was used as the data source for studying the dynamics of fishery vessels. A total of 719 nighttime light images were recorded in the Yellow Sea in 2016. We designed a new method to extract the light point information of the nighttime operation vessels in the Yellow Sea. Analysis of the lighting points in combination with the China-Korea Fishery Agreement Area and the Yellow Sea area fishery division. The results show that the seasonal distribution change of fishery lights is significant, and the number of fishing boats in the four seasons shows the trend of autumn> spring> summer> winter. The number of light points is the largest in South Korea's waters, followed by China's side waters, and that in the waters in China and South Korea agreement zone is the smallest. Combined with the light point density map, the Korean side waters have higher intensity and wider distribution range in autumn, while other seasons have moderate intensity, and high-grade agglomeration areas are distributed in coastal waters all year round; the Chinese side waters have lower intensity in summer and winter, higher intensity in spring and autumn, and the overall intensity of the year is low but the distribution is broad. The number of light points in both sides has obvious seasonal patterns, and the proportion of light points decreased by 86.9% during the closed fishing season. Therefore, it is inferred that most of the light points identified in this study are fishery vessels, which can be used to provide reference for night fishing activities.

**Key words:** nighttime light remote sensing; fishing vessel dynamics; VIIRS/DNB; fishery resources; Yellow Sea

**Corresponding author:** LIU Yang. E-mail: Yangliu315@ouc.edu.cn

**Funding projects:** National Key R & D Program of China (2018YFD0900902); Fundamental Research Funds for the Shandong Key R & D Program (2019GHY112014); Fundamental Research Funds for the Central Universities (201762015)